



ムーンショット目標3

2050年までに、AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し
人と共生するロボットを実現

実施状況報告書

2023年度版

主体的な行動変容を促す Awareness AI

ロボットシステム開発

下田 真吾

国立研究開発法人 理化学研究所



1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

(1) 研究開発プロジェクトの概要

ロボットに代表される人工物を利用して人の生活をサポートする研究は、世界中で盛んにおこなわれているが、人が「主体的に気づく」ことをアシストできるほど、人と人工物が効果的に融合しているものはない。その一つの大きな原因として、「制御対象としての人」に対する理解が圧倒的に不足している点あげられる。特に「違和感」といったような、人の内面を構成する基本的な概念は、人の特徴に基づき、工学的に制御対象となる形で定義するには至っていない。

目標3の計画にある人と共生するロボットを実現のためには、人の外界との相互作用の影響を正しく理解し、入出力を持つ制御対象としてモデル化したうえで、気づき・違和感・共進化といった概念も同様に適切なモデルを与えることで、人を適切にサポートする、Awareness AI を構築していく。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

2023年度は、適切な気づきを引き起こす脳神経系の活動を基に、脳深部ネットワークにより形作られる「無意識の知性」の存在を明らかにし、脳深部への Direct Path を持つ感覚神経系を Robotic Nimbus を用いて適切に刺激することで、無意識の知性に働きかけ適切な行動変容を起こしうることを、慢性疼痛や運動麻痺を持つ患者への介入により示してきた(研究課題 2-1、2-2)。

これらの実験を通じて、適切な Awareness AI を構成するには下記の3つの要素が重要であることが分かってきた。

1. 脳深部ネットワーク状態を推定するための生体信号計測
2. 対象とする状態を表現可能な脳深部状態モデル
3. 脳深部ネットワークを調整するための介入刺激

慢性疼痛や運動麻痺患者では筋活動や姿勢等がネットワーク状態を推定するための生体信号となり、それらの信号を計測推定するためのデバイス・アルゴリズムなどを進めた(研究課題 1-1、1-3、3-4 等)。また、脳深部ネットワークモデルは、ビックデータを利用した機械学習により構築することを進めてきた(研究課題 1-2)。

加えて、その行動変容を定量化すべく認知心理学に基づくパラメータを用いて、生体信号から定量化することを進めた(研究課題 3-1)。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

i. 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握

- 月一度のペースで全PIの参加する On-line での進捗報告会を実施し、全員で進捗の共有を進めている。それとは別に、2023年5月16日に JST において、PD、Sub-PD を交えた Kick-off Meeting を開催し、プロジェクトとしての方向性を確認した。
- 2023年8月には、全課題推進者及び参加メンバーの研究合宿を行い、ステージゲート審査でのアウトプットを共有するとともに、審査までのタイムスケジュールを決定した。

研究開発プロジェクトの展開

- EU のチームとの協力関係を議論し、2 名の EU の課題推進者 (the University of Edinburgh、 Spanish national research council) を迎えることとし、そのための議論を開始した。

2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

(1) 研究開発項目1: Awareness AI の開発

研究開発課題1-1: 潜在能力開放 AI の開発

当該年度実施内容:

ヒトの潜在能力の推定のためには、運動力学的生合成や神経系の妥当性などの身体情報を反映した生体デジタルモデルが求められる。当該年度は、四肢の長さや質量、重心位置等の運動力学的な特徴の個体化に加えて、疾患情報から明らかになる筋骨格的特徴等の情報を反映した生体デジタルモデルを開発した。

そのうえで開発した生体デジタルモデルを実際の疾患データに適用し、実際に実現される運動と、身体情報から期待される潜在能力との差値を定量的に表現することが求められる。本研究では順問題を解くことにより“人らしい”運動を生成する必要があるため、当該年度は、健常者と患者、各々の生体デジタルモデルおよび運動データからその差値を定量的に表現するシステムの導入・整備を行った(図1参照)。



図1: 実際の計測から人らしさを生成するデモの様子

課題推進者:

村井 昭彦(産業技術総合研究所)

研究開発課題1-2: 生体信号解析 AI の開発

当該年度実施内容:

当該年度は、大規模歩行 DB のデータに対して、深層学習による次元圧縮と特徴抽出を行い、協調運動成分を抽出した。得られた協調運動成分に基づいて、少し先の動作を予測する Transformer モデルを開発し、予測値と実測値のずれを指標として異常検知を行った。このモ

デルを評価会において、実際に運用し、新規被験者の歩行データに適用したところ、3つの協調運動成分において、大規模歩行 DB から求めた予測誤差の信頼区間を大きく外れた予測誤差が検出された。

具体的には、産総研デジタルヒューマン研究チームが保有する大規模歩行 DB のデータに適用し、次元圧縮と特徴抽出を行った。歩行データの仮想 IMU (Inertial Measurement Unit) 56 箇所、50 フレーム分 (0.25s) のデータから 10 次元の協調運動成分を得ることができた (図 2 参照)。さらに、提案した Transformer に基づいて、25 フレームのデータをインプットとして 5 フレーム (0.025s) 先を予測するモデルを開発し、予測値と実測値のずれを指標として異常検知を行った。その結果、個人ごとの歩行特性を考慮した予測と異常検知が可能となった。

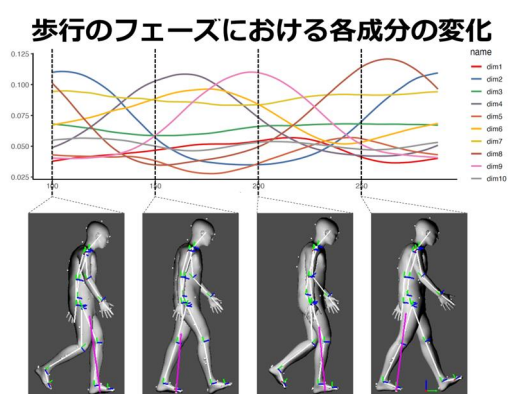


図2: 歩行における成分分解の結果

課題推進者:

川上 英良 (理化学研究所)

研究開発課題 1-3: AI に基づく支援デバイスの制御則の確立

当該年度実施内容:

令和 5 年度では脳性麻痺児に対するリハビリテーションを対象に、リハビリテーションの前後において患者の運動機能や生理状態、身体認知がどのように変化するかを調査した。このような脳性麻痺児に対して、各身体部位に対する徒手療法を実施した際に、腕を使ったリーチング動作や歩行動作、立ち上がり動作がどのように変化したかを解析した。本年度は 4 名の脳性麻痺児と 23 名の定型発達児を対象に計測実験を行った (図 3 参照)。その結果として、リハビリテーションの後には、自身の身体の近傍空間の把握能力が向上し、さらに身体関節間の協調度合いが向上していることが示された。このような指標によって姿勢異常があった際にそれを補償するようにリアクティブに運動するのではなく、本人が能動的にプロアクティブに運動していることを評価することができるようになった。

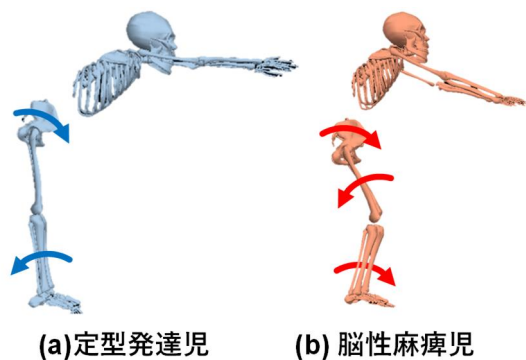


図 3:脳性麻痺児の運動計測の様子

課題推進者:

安 琪(東京大学)

(2) 研究開発項目2: Awareness AI の応用

研究開発課題 2-1: 平田 PJ と連携した Awareness AI の実証実験

当該年度実施内容:

2023 年度は、Awareness AI の定義を脳神経科学に基づいて確立することを目指し、ヒトの意識と無意識の関係に絡め、脳の 3 状態である、無意識の処理を行っている状態 (Default Mode Network)、意識的な処理を行っている状態 (Central Executive Network)、気づきの処理を行っている状態 (Salience Network) と、脳深部活動を基に

- ヒトの気づき
- 介入すべき神経系と確立すべき脳状態
- ヒトとロボットの共進化の在り方

の定義を明確化した(図 4 参照)。

その定義を基に、平田 PJ で作成された複数の Robotic Nimbus(野田 PI 作成、多田隈 PI 作成)を制御することで、特定の疾患患者の機能回復実験を進め、有効性の確認を進めた。

気づきを促す脳・神経系

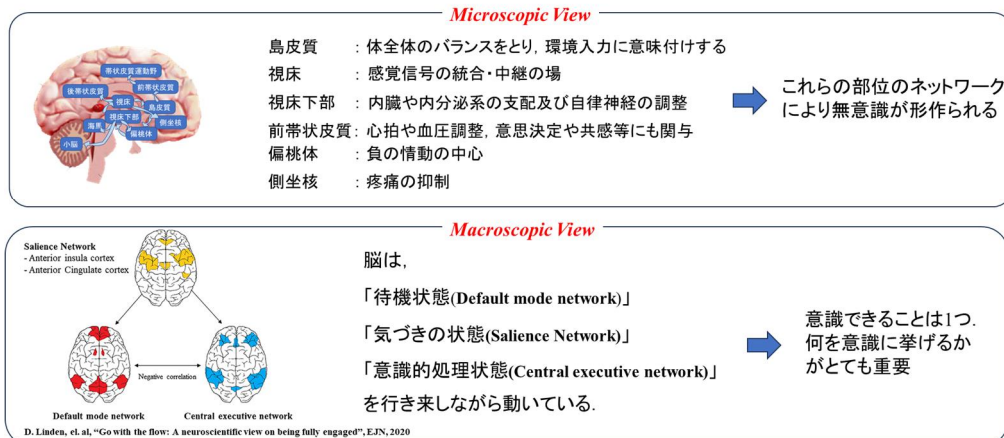


図 4: 気づきを促す脳神経系のモデル

課題推進者:

下田 真吾 (理化学研究所)

研究開発課題2-2: Awareness AI による神経系異常からの機能回復実験

当該年度実施内容:

令和5年度、イオンモールナゴヤリタケガーデン内に設置した Awareness AI Lab (オープンラボ、図5参照)では慢性筋骨格疼痛を有するボラティアを対象に詳細な生体信号・動作解析を実施し、また、名古屋大学医学内の Awareness AI Lab (医学部3号館個別化医療学講座内に設置)においては名古屋大学医学部附属病院で加療されている重度神経障害患者を対象として生体信号・動作解析を強力に推進し、これらに伴って生ずる心身の変化を定量・半定量的に分析することにより工学の視点から病態を解析するためのデータ収集を強力に推し進めた。これらの研究参加者には名古屋大学脳とこころの研究センター(脳磁計、機能的MRI)と、名古屋大学医学部XRセンター(高密度脳波計)において詳細な脳機能解析も並行して実施し、得られたデータを下田に提供することで“Awareness AIの脳神経科学に基づく定義”の確立を目指す統合的データ解析環境の構築を進めた。



図5: イオンモール Nagoya Noritake Garden に設置した Awareness AI Lab (通称: みらい)

健康ラボ)

課題推進者:

平田 仁 (名古屋大学)

(3) 研究開発項目3: Awareness AI の社会実装

研究開発課題3-1: 認知心理指標の定量化

当該年度実施内容:

心理行動実験でターゲットする気づきは、Awareness AI の導入によって使用者に心理的現象として形成されるものである必要があり、他研究開発項目と意見交換を行いながら、ターゲットとする気づき現象を明確化する必要があった。ターゲットとする気づきと行動の関連度合いを独立変数として、「気づき」現象をより効果的に観察できるものを新たに開発すべきである。2023年度は、2022年度に引き続き、研究開発課題1-3と協力しながら予備実験で生体信号データの計測を行い、指標として使用する生体信号を検討した。選定したタスクを研究開発項目2の実証試験の場面において使用し、実証試験の場で機能するタスクの選定を行なった(図6参照)。

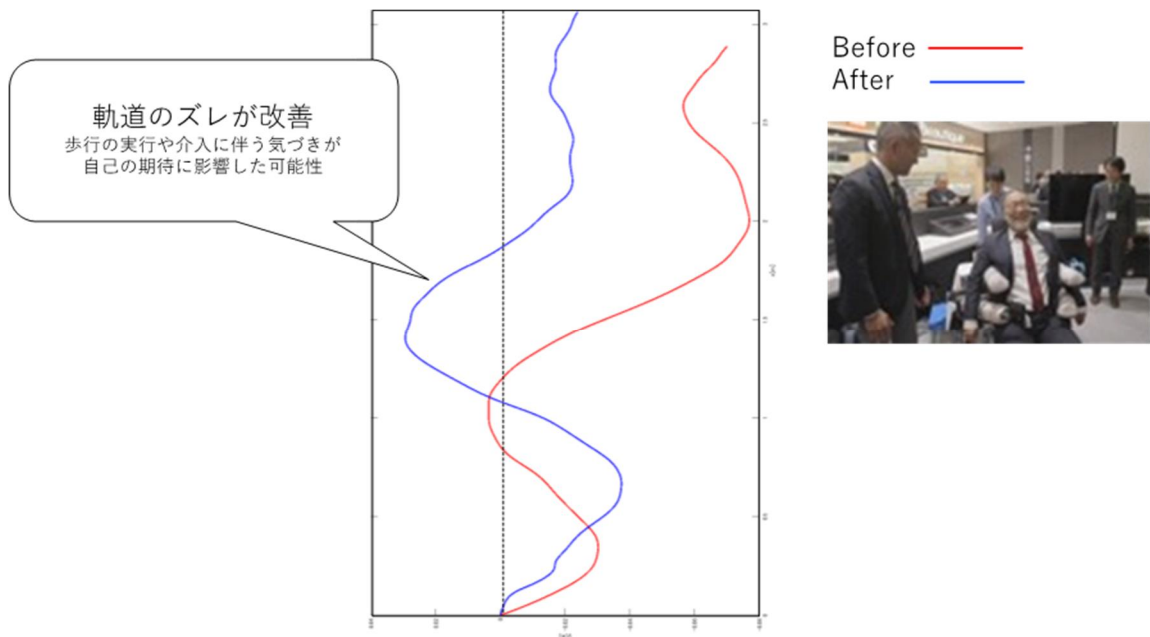


図6: デモ実験における歩行軌道の改善の様子

課題推進者:

上田 彩子 (日本女子大学)

研究開発課題3-4: 内受容感覚操作システム開発

当該年度実施内容:

本研究開発課題が目指す内受容感覚操作システムは、人間が絶えず使っている、外受容、内受容のループに違和感なく介入することで、その認知の操作性の手段の獲得、および無意識の知性による身体制御や、筋活動の拘束などに介入し、発達しすぎた人間の認知機能と生得的な知覚機能の不足部分を補完し拡張する能力を得ることを目指すものであり、日常の無意識の動作を妨げない形での常時計測/刺激系組み入れを実現しつつ、well-being に資する未来予測システムを構築することが本研究課題の重要な目的となる。R5 年度においては、上述システムの実装に向けた要素技術を開発する一方、開かれた環境での PoC を積極的に行なうことにより、当該システムの社会的受容性や、実生活環境での実装のポイントなど Heuristic な観点のレビューを先行して組入れる方策を採り、各所でのアウトリーチ活動を闊達に実施した。

課題推進者:

藤原 武史 (豊田合成株式会社)

3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

(1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

ii. 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握

- 月一度のペースで全 PI の参加する On-line での進捗報告会を実施し、全員で進捗の共有を進めている。それとは別に、5 月に JST において、PD、Sub-PD を交えた Kick-off Meeting を開催し、プロジェクトとしての方向性を確認した。
- 8 月には、全 PI 及び参加メンバーの研究合宿を行い、ステージゲート審査でのアウトプットを共有するとともに、審査までのタイムスケジュールを決定した。

研究開発プロジェクトの展開

- EU のチームとの協力関係を議論し、2 名の EU の PI (the University of Edinburgh、Spanish national research council) を迎えることとし、そのための議論を開始した。

(2) 研究成果の展開

これまでの研究成果を元に、以下の項目に関して企業と連携の検討を進めている。

- これまでに検討した脳深部の活動を利用した、新たな取り組みとして自律神経状態などに働きかけが可能な空間に関する検討を始めている。
- 歩行計測に基づく健康指標の実証試験を行っていく計画を進めている。
- ELSI に関する委員会の設置などの検討を進めている。
- その他、共同研究に興味を示す企業は多数あるため、検討を進めていく。

(3) 広報、アウトリーチ

図7に示すように、月一度の頻度でイオンモール Nagoya Noritake Garden での市民公開講座を行った。健康に関するテーマを設定し、参加者が体験できる内容も交えながら市

民の意識改革を進めている。



第1回～9回みらい健康ラボ開催（イオンリタケ）

図7：イオンモールでの市民公開講座の様子

また、図8に示す、US-Japan Healthcare Connection というイベントを主催した。US-Japan Healthcare Connection とは、シリコンバレーの Healthcare に関するスタートアップ企業 20 社が参加しピッチトークを展開するとともに、日本企業やアカデミアとのネットワーク構築を目的としたイベントであり、当日は愛知県知事や名古屋市長にもご参加いただき、Healthcare の産業化も含め様々な議論を行った。

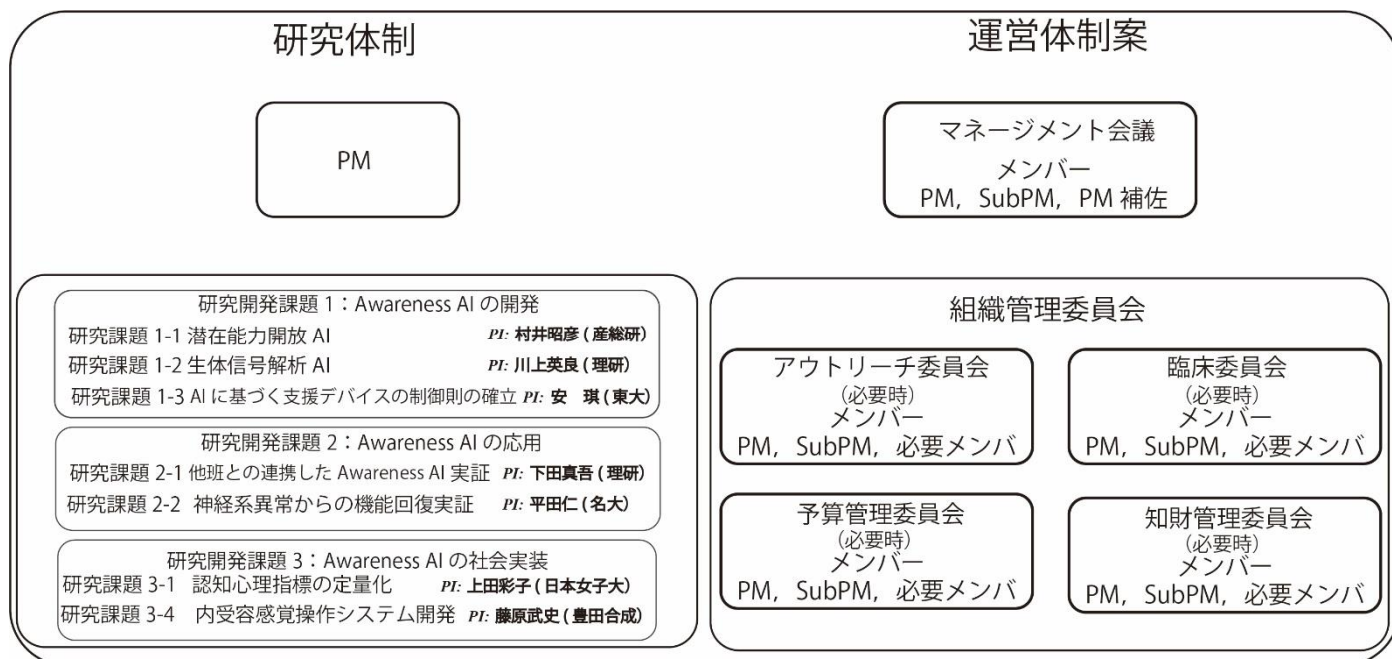


図8:US-Japan Healthcare connection の様子

(4) データマネジメントに関する取り組み

当該年度に関しては、人情報の取得のため、倫理審査基準にのっとり、非公開にてデータ取得を行っている。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



知財運用会議 構成機関と実施内容

- 知財委員会の運営方針の決定
- 方向計測からの特徴量抽出システムの知財化の可能性検討

運営会議 実施内容

- キックオフミーティング実施内容
- 合宿の実施内容の検討
- ステージゲート審査での実施内容の検討
- 大阪万博での実施内容の検討

5. 当該年度の成果データ集計

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際 (PCT 含 む)	国内	国際
未登録件 数	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出 願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	10	1	11
口頭発表	2	1	3
ポスター 発表			
合計			

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	3	3
(うち、査 読有)	0	3	3

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	2	0	2
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	0	0	0

受賞件数		
国内	国際	総数
1		

プレスリリース件数
0

報道件数
2

ワークショップ等、アウトリーチ件数
10